

# ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL EN CANTABRIA APLICADOS A LA CARTOGRAFÍA AGROCLIMÁTICA DE PRECISIÓN

Francisco Javier ALONSO DEL VAL<sup>1</sup>, Viola BRUSCHI<sup>1</sup>, Antonio COFIÑO<sup>2</sup>, Ángel FELICÍSIMO<sup>3</sup>,  
José María FERNÁNDEZ LÓPEZ<sup>4</sup>, Ferran FERRER I MARCO<sup>5</sup>, Enrique FRANCÉS ARRIOLA<sup>1</sup>,  
José Manuel GUTIÉRREZ LLORENTE<sup>2</sup>, Sixto HERRERA GARCÍA<sup>6</sup>

<sup>1</sup> *Depto. Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Universidad de Cantabria*

<sup>2</sup> *CSIC-Instituto de Física de Cantabria, Universidad de Cantabria*

<sup>3</sup> *Universidad de Extremadura*

<sup>4</sup> *SIG Rural S.L.*

<sup>5</sup> *Edafólogo*

<sup>6</sup> *PREDICTIA S.L.*

**fjval@ono.com, viola.bruschi@unican.es, antonio.cofino@unican.es, amfeli@unex.es**  
**jmfernandez@sigrural.com, ferran.ferrer.marco@gmail.com, francese@unican.es,**  
**manuel.gutierrez@unican.es, herreras@unican.es**

## RESUMEN

Se han elaborado para la CC.AA. de Cantabria los modelos climáticos regionales y los escenarios de cambio climático para el presente siglo con una precisión de “pixel” de 1Km, como producto de la interpolación de los datos meteorológicos al territorio a través de un SIG. Para la elaboración de dichos modelos se ha aplicado un método lineal local (regresión multivariada utilizando un conjunto de vecinos de cada punto), considerando como regresores las siguientes variables: elevación sobre el nivel del mar, su cuadrado y su cubo, longitud y latitud, insolación potencial en cinco épocas distintas del año, distancia a la costa, su cuadrado y su cubo, curvatura, calculada con radios de 5, 10 y 25 km, vertical y horizontal, y orientación, según la dirección de ocho cuadrantes. Con esta información se obtuvo el Mapa de tipos o zonas agroclimáticas de Papadakis con resolución 1x1 km. Finalmente, se ha obtenido la evolución del Mapa Agroclimático a lo largo de cuatro períodos temporales 1971–2000, 2011–2040 y 2041–2070 y 2071–2100. Todos los procesos de cálculo están automatizados, pudiéndose generarse resultados a partir de actualizaciones o nuevos datos.

**Palabras clave:** Cambio climático, Modelos Climáticos Regionales, Clasificación Agro-climática, Ordenación del Territorio.

## ABSTRACT

Through the interpolation of meteorological data on a Geographic Information System (GIS), regional climate models (at 1 km spatial resolution) and scenarios of climate change for this century have been developed for the Cantabria Region. For the development of those models a local liner method has been used (multivariate regression using a set of neighbours at each point) considering the following variables: altitude, its square and cube, longitude, latitude, potential insolation, distance from the coast, its square and cube, topographic barriers and aspect. With this information zoning of Cantabria and the Papadakis's Agro-climatic Map have been obtained. Finally, the evolution of the Agro-climatic Map and the potential for the selected crops have been obtained for four time periods: 1971–2000, 2011–2040, 2041–2070 and 2071–2100. GIS procedures make up to date possible when new data is available or refinements desired.

**Key words:** Climatic change, Regional Climatic Models, Agro-climatic Zoning, Land Use Planning.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el año 2007, la Universidad de Cantabria realizó un proyecto de investigación denominado “Zonificación Agroecológica de Cantabria: un estudio del potencial regional para el desarrollo de actividades agro–ganaderas”. Dicho proyecto fue encargado por la Dirección General de Desarrollo Rural del Gobierno de Cantabria, coordinado por el DCITIMAC y elaborado durante los años 2006–2008, con la colaboración de SIG Rural. Se elaboraron modelos climáticos de alta resolución por el Grupo de Meteorología de la UCAN para el período 1960–1991. De estos modelos climáticos se derivó la cartografía necesaria para la elaboración de las tipos o zonas agroclimáticas de Papadakis (Alonso, J.F. et al. 2007). Con posterioridad, se realizó un nuevo proyecto de investigación elaborado por el Grupo de Meteorología de la UCAN (Gutierrez, J.M. et al. 2010), para estudiar los escenarios de cambio climático para Cantabria. Estos nuevos datos, obtenidos con mayor precisión, permitieron plantear el objetivo del presente trabajo de revisar y generar de nuevo los Mapas Agroclimáticos de Papadakis para el período 1971–2000 y posteriormente proyectarlos para las series o períodos 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100.

Cantabria esta morfológicamente bien diferenciada de norte a sur (figura 1), encontrándonos una región de carácter costero (La Marina), otra montañosa (La Montaña) y de transición a la meseta Castellana (Los Valles del Sur). La configuración orográfica (prácticamente el 40% está por encima de 700 metros de altura), topografía (pendientes superiores al 30% en un tercio de la región) y la cercanía al mar Cantábrico, configuran unos enclaves y rasgos paisajísticos propios derivados de la presencia de un clima oceánico o atlántico, cuyas dos principales características son la de disponer de un régimen de temperaturas suaves y templadas, con una limitada oscilación térmica, que se acentúa con la altitud y una mayor distancia al mar junto con la abundancia de lluvias frecuentes a lo largo de todo el año, con máximos en invierno. Los Valles del Sur están claramente influenciados por la continentalidad y sequedad propia del clima de la Meseta Castellana.

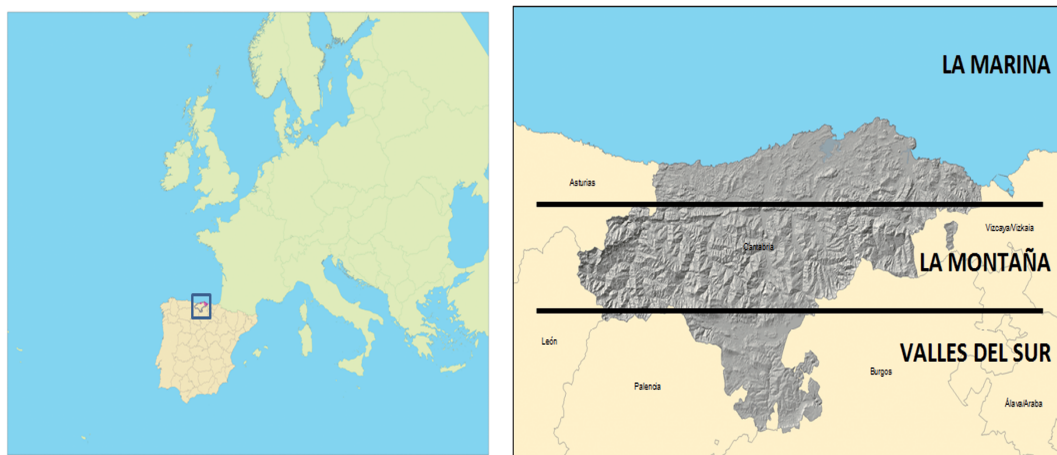


FIG. 1: Localización del área de estudio

Se presenta en este trabajo el análisis realizado para el territorio de la Comunidad Autónoma de Cantabria con el fin de determinar la evolución espacio temporal del cambio climático en los tipos o zonas agroclimáticas, imprescindible para la planificación de los recursos potenciales del sector primario, con un mejor balance energético, una adecuada gestión del agua y conservación de la biodiversidad vegetal como base para una mayor soberanía alimentaria y conservación del patrimonio natural y agro–alimentario.

## 2. METODOLOGÍA

Para poder comparar la evolución experimentada en Cantabria ante el cambio climático, el método empleado ha sido automatizar los procesos de análisis en un Sistema de Información Geográfica para la obtención de la cartografía agroclimática de Papadakis a partir de los datos obtenidos por los escenarios de cambio climático (Gutiérrez, J.M. et al. 2010). Esta automatización nos ha permitido proyectar y obtener de forma cómoda la nueva cartografía de las series o períodos estudiados 1971–2000, 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100.

### 2.1. Obtención de datos y cartografía de interés agroclimática

La información de base fue facilitada por La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) trabajando con los datos diarios de la serie 1971 – 2010. Dichos datos fueron sometidos a una revisión para descartar información no significativa de algunas estaciones. Posteriormente se realizó el tratamiento y modelización fundamentada en definir en la zona de estudio una malla regular cuadrada con una precisión de “pixel” de 1km de lado, aplicando a cada pixel el producto de la interpolación de los resultados de las estaciones al resto del territorio. Para ello se ha aplicado un método lineal local (regresión multivariada utilizando un conjunto de vecinos de cada punto), considerando como regresores las siguientes variables: elevación sobre el nivel del mar, su cuadrado y su cubo; longitud y latitud; insolación potencial en cinco épocas distintas del año; distancia a la costa (DC), su cuadrado y su cubo; curvatura, calculada con radios de 5, 10 y 25 km, vertical y horizontal, y, finalmente, orientación topográfica según la dirección de ocho cuadrantes (Guijarro, J.A. 1986, White, E.J. 1979).

En este trabajo, se ha probado un método lineal global (regresión multivariada), un método no lineal global (redes neuronales) y un método lineal local (regresión multivariada utilizando un conjunto de vecinos de cada punto). El método local es el que ha proporcionado los mejores resultados, considerando un modelo para cada observatorio tomando los datos de los observatorios en un radio de 30 km (se probaron distintos valores y éste resultó el óptimo). Cada uno de estos modelos locales se obtuvo a través de una regresión lineal por etapas que iba eligiendo los regresores óptimos uno a uno hasta que el modelo no mejoraba significativamente ( $p$ -valor de 0.05). Para la temperatura, los mejores regresores locales resultaron la elevación y la distancia al mar (o latitud). En el caso de la precipitación, además de estos regresores también resultó ser significativa la orientación Noroeste (Droge, G. et al. 2002).

Para las proyecciones regionales de cambio climático de alta resolución de los valores diarios para tres períodos futuros, se han considerado tres modelos globales (BCM, CRNM y ECHAM5), tres escenarios (B1, A1B y A2) y un método estadístico de regionalización. Obtenidas las proyecciones para el siglo XXI, fue posible calcular la nueva redistribución de climas en la región generados por el conjunto de métodos empleados “*Ensemble*”, (Gutiérrez J.M. et al. 2010.)

### 2.2. El Mapa Agroclimático de Papadakis para Cantabria

Una vez obtenidos los modelos climáticos a una resolución de 1 km, se elaboraron para el conjunto de Cantabria los distintos índices climáticos que intervienen en el cálculo del mapa final de Papadakis según Castillo, F.E. y Ruíz Beltrán, L. 1973 (tabla 1). Es decir, en primer lugar se obtuvo el tipo de verano e invierno para derivar el Régimen Térmico y a continuación se obtuvo el Régimen Hídrico (figura 2). Finalmente por integración de los dos regímenes, se obtuvo el Mapa Agroclimático de Papadakis para Cantabria (figura 3).

Temperatura media de las máximas (periodo cálido)
Temperatura media de las máximas absolutas
Temperatura media de las mínimas (periodo frío)
Temperatura media de las mínimas absolutas
Temperatura media de las medias
Temperatura media del mes más cálido
Temperatura media del mes más frío
Pluviometría mensual, estacional y anual (balance hídrico)
Periodo de heladas (duración del periodo de crecimiento)
Horas frío (< 7°)
Integrales térmicas (grados de calor)
ETP media mensual y anual (periodo seco)

TABLA 1. *Índices climáticos básicos*

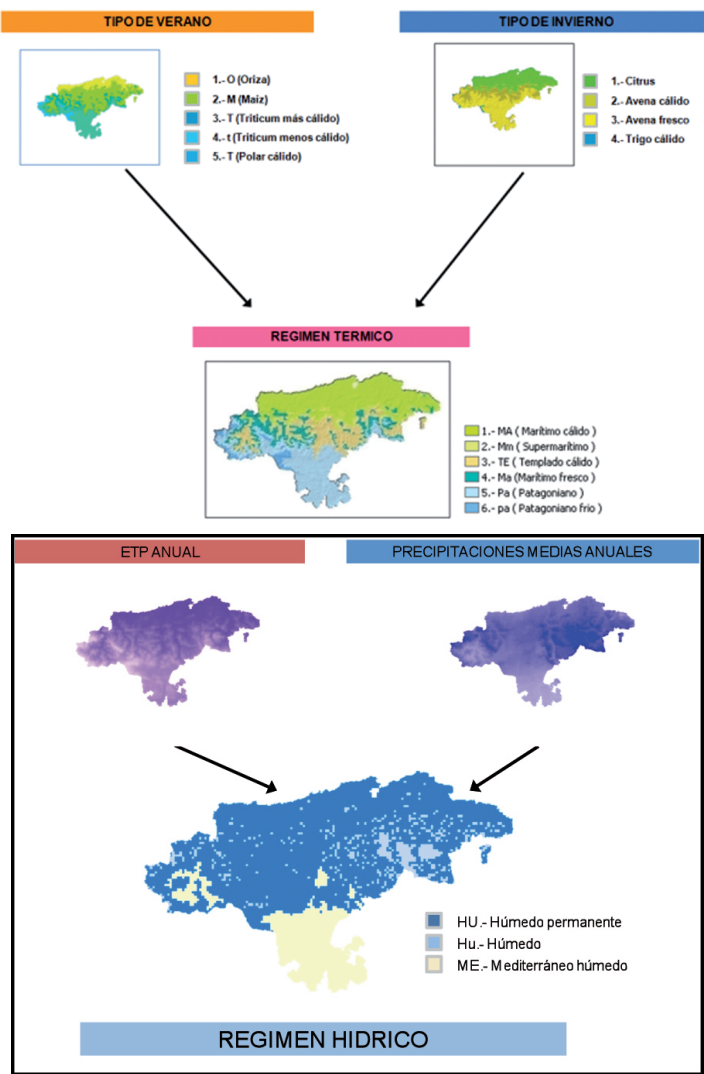


FIG. 2: *Proceso de obtención del régimen térmico e hídrico*



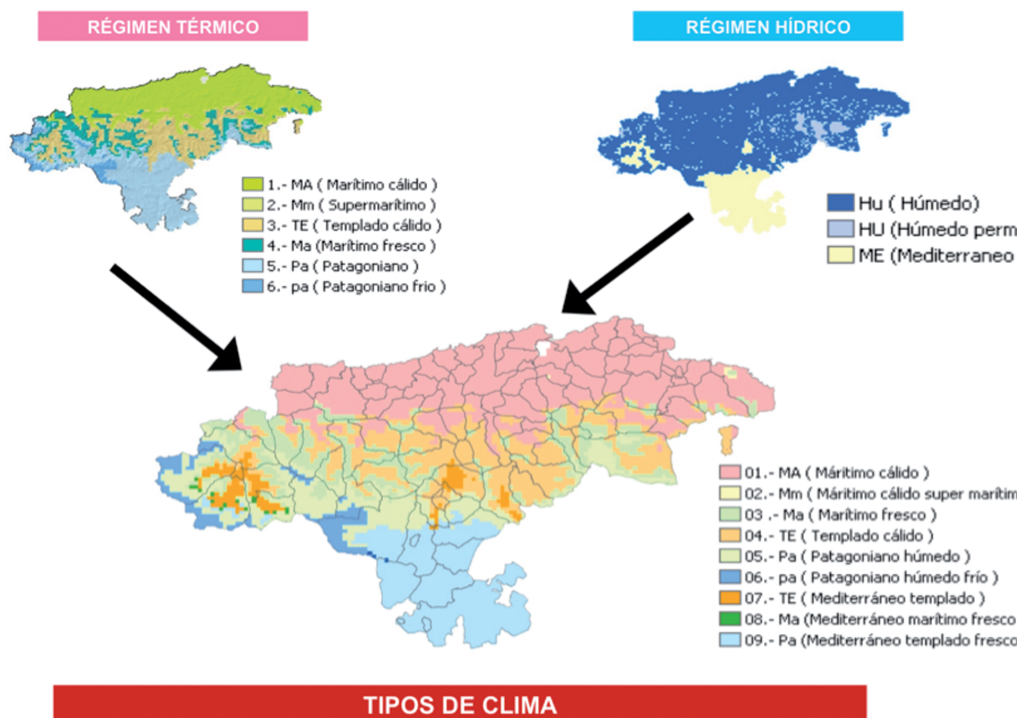


FIG. 3: Proceso de obtención del tipo de clima según Papadakis

A continuación, se obtuvieron las evoluciones de los Mapas Agroclimáticos para los períodos de tiempo citados al inicio de este apartado. Dichos mapas se presentan en el apartado de Resultados.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Régimen Térmico

La combinación de tipos de invierno y de verano ha dado lugar en el momento actual, a la presencia de tres grandes tipos de regímenes térmicos en Cantabria: El Marítimo, el Templado y el Patagoniano con sus distintas subdivisiones (figura 4). La evolución a lo largo del presente siglo indica que el régimen Marítimo se expande hacia el interior en dirección sur, llegando a ocupar en el 2100 prácticamente la mitad de la región, desapareciendo el tipo Marítimo fresco desplazado por el Marítimo cálido. A su vez el tipo Templado cálido se desplaza hacia el sur, en detrimento de los Patagonianos relegados a las zonas medias y altas de la Cordillera Cantábrica (figura 4).

#### 3.2. Régimen de Humedad

Actualmente aparecen para Cantabria los dos principales regímenes de humedad: el Marítimo húmedo y el Mediterráneo con dos subdivisiones. La evolución nos indica la progresiva desaparición del régimen Marítimo húmedo a favor del Mediterráneo húmedo que avanza de este a oeste y de sur a norte hasta su total desaparición a final de siglo. El Mediterráneo seco aumenta progresivamente su presencia en el sur (Valle del Ebro) y Liébana (figura 4).

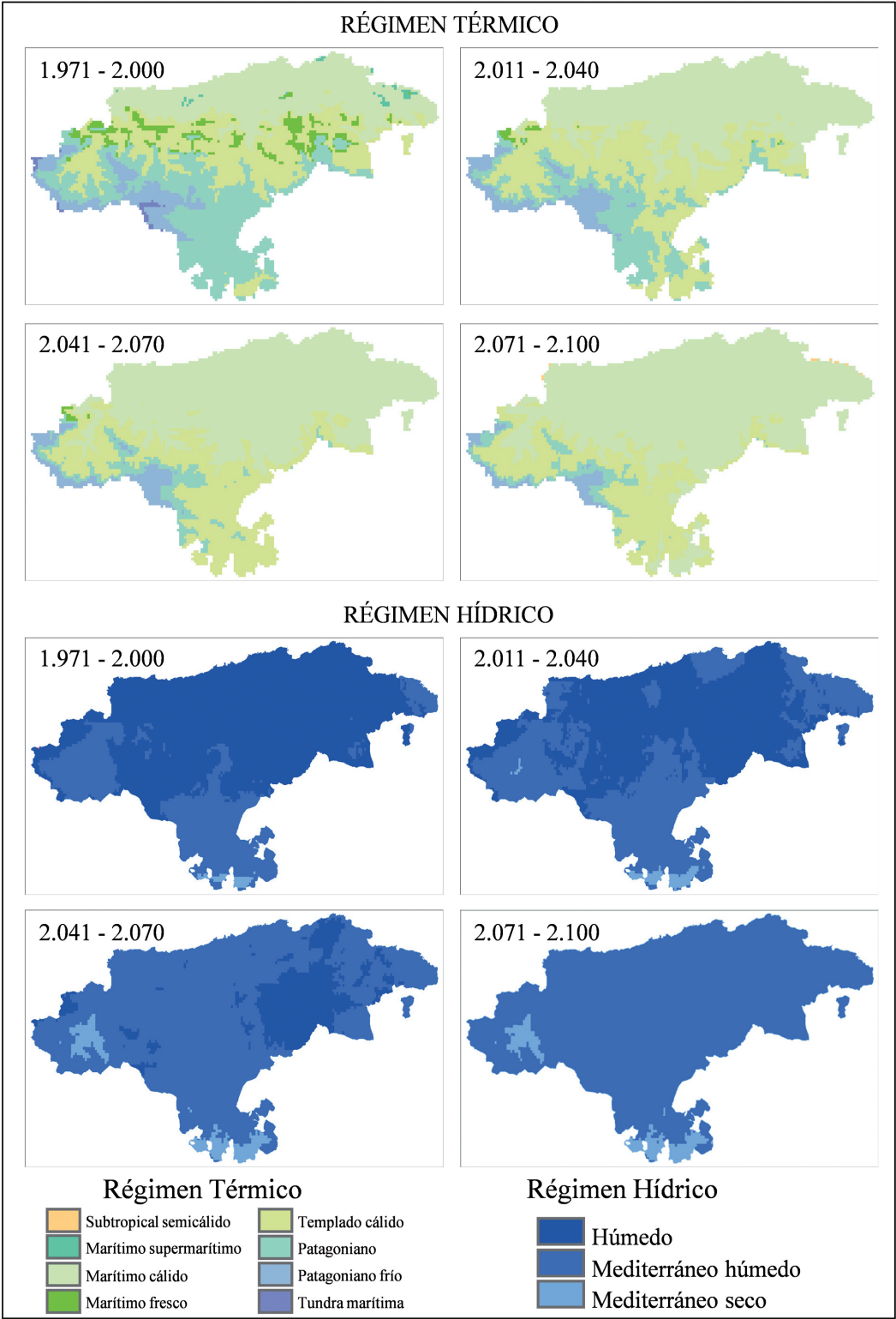


FIG. 4: Evolución prevista para los regímenes térmico e hídrico, a lo largo del presente siglo.

### 3.3. Evolución del Mapa de Papadakis

A principios de siglo aparecen nueve Tipos Agroclimáticos en la región con unas características definidas en cuanto al período frío, termicidad de la estación cálida, régimen de precipitaciones y régimen de evapotranspiración (figura 5):

- Tipo 7.1. Marítimo cálido (MA–Hu): Caracterizada por un período frío de muy corta duración y la estación veraniega es templada. En algunas áreas costeras las heladas son prácticamente desconocidas, por lo tanto el período de crecimiento de los vegetales dura casi todo el año. El régimen hídrico húmedo implica que las sequías sean casi inexistentes. En su evolución, se relega a las zonas más húmedas de las montañas y valles interiores, desapareciendo de las áreas costeras.
- Tipo 7.2. Marítimo fresco (Ma–Hu): Presenta un período frío con una duración de 6 a 7 meses con una estación de crecimiento sensiblemente más corta que la anterior, sin embargo el régimen hídrico hace que no haya prácticamente déficit de agua durante todo el año. El cambio climático la va afectar significativamente a corto plazo (mitad de siglo) produciendo su desaparición.
- Tipo 7.5. Marítimo templado cálido (TE–Hu): Se observa una clara tendencia a la continentalidad con una termicidad superior en la estación cálida y un período frío mayor pero conservando las características básicas de la zona Marítima cálida. Su evolución nos indica su total desaparición de forma progresiva por el aumento de la frecuencia de sequías.
- Tipos 7.8 y 7.9. Marítimo Patagoniano húmedo (Pa–Hu) y húmedo frío (pa–Hu): el periodo frío es largo e intenso lo que produce un corto periodo de crecimiento de los vegetales a pesar de tener cubierta la demanda hídrica durante todo el año. Se extiende por la alta y media montaña de la cordillera y zonas de transición a la meseta, reduciéndose su distribución a final de siglo a la alta montaña.
- Tipo 6.2. Mediterráneo marítimo (MA–ME): Las características térmicas son análogas a las descritas para el tipo Marítimo cálido, sin embargo el balance hídrico presenta un periodo seco que dura entre 1 y 2 meses por lo que se clasifica como Mediterráneo húmedo mas propio de la transición hacia la meseta sur. Se expande de este a oeste en la costa y de norte a sur ocupando a final de siglo la mayor parte de la superficie regional.
- Tipo 6.3. Mediterráneo marítimo fresco (Ma–ME): Las características térmicas son análogas a las descritas para el tipo Marítimo fresco. El balance hídrico presenta un periodo seco que dura entre 1 y 2 meses que lo incluye dentro del régimen Mediterráneo húmedo. Se produce su progresiva desaparición de las áreas montañosas intermedias.
- Tipo 6.5. Mediterráneo templado (TE–ME): características térmicas idénticas al tipo Marítimo templado cálido con la particularidad de tener una estación cálida cuya termicidad (integral térmica) es de las mayores. Presenta un claro periodo seco entre 1 y 2 meses, algo mas duradero e intenso en valles interiores. Se observa en su evolución un progresivo aumento hacia el sur, con características de transición de la meseta Castellana y en Liébana aumenta en altura desde el fondo de valle.
- Tipo 6.6. Mediterráneo templado fresco (Pa–ME): características térmicas semejantes al tipo Marítimo Patagoniano. La cuantía y frecuencia de las precipitaciones hace que el balance hídrico presente un periodo seco muy definido entre 1 y 2 meses. Su evolución indica que tiende a disminuir en extensión relegándose a zonas de alta montaña a final del siglo.
- Tipo 6.1. Mediterráneo subtropical semicálido (Su–ME): este tipo se caracteriza por un régimen térmico semejante al marítimo cálido, presentando un tipo de verano sensiblemente mas cálido (con una termicidad mayor) y con un balance hídrico semejante al Mediterráneo marítimo. Este tipo aparece de forma puntual en Cantabria a finales del siglo XXI, limitándose

a determinadas áreas microclimáticas costeras de los límites oriental y occidental. Su aparición es un buen indicador del progresivo calentamiento global.

Como se puede observar en el mapa, ya en la última década del siglo XX aparece en la costa oriental de Cantabria, en los alrededores de Castro-Urdiales, el tipo de clima Mediterráneo marítimo (MA-ME, Me), en principio esta zona se va extendiendo progresivamente hacia el occidente por toda la Marina, penetrando en los valles fluviales (Liébana y Valderredible) ocupando paulatinamente el territorio actual de los agroclimas de tipo atlántico (Marítimo cálido, Marítimo fresco, etc.).

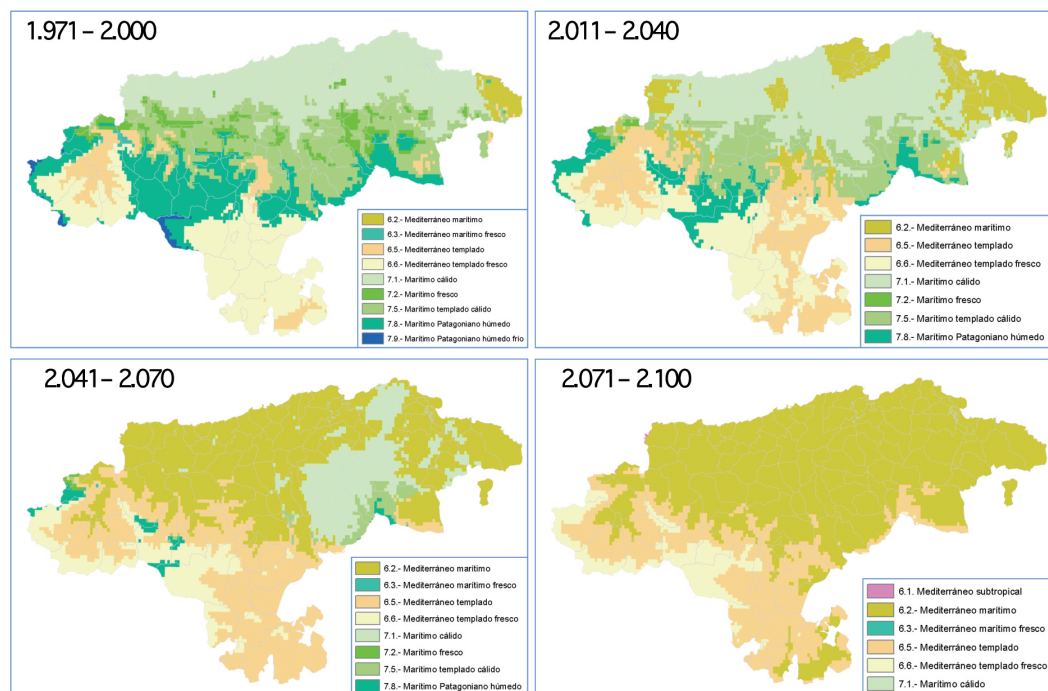


FIG. 5: Evolución prevista para el mapa climático de papadakis, a lo largo del presente siglo.

#### 4. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se pueden extraer del trabajo, son las siguientes:

1. Los sistemas informáticos automatizados diseñados permiten a partir de los datos climáticos diarios generar los índices simples y agregados que darán lugar a la cartografía agroclimática para los diferentes períodos y escenarios de cambio climático.
2. A la vista de los resultados del análisis se hace evidente la necesidad de aumentar el número de estaciones meteorológicas en áreas de montaña, y sobre todo en zonas de cumbres, con el fin de aumentar la robustez de los modelos climáticos.
3. A tenor de los cambios producidos a lo largo de los períodos considerados en los regímenes térmico e hídrico, se constata una clara transición en toda Cantabria a lo largo del siglo actual hacia el grupo de agroclimas de tipo Mediterráneo. Concretamente, durante el período 2041–2070 ya habrá desaparecido prácticamente el tipo Marítimo fresco, hoy dominante en las zonas de montaña de Cantabria, y se habrá hecho dominante en la región el tipo Mediterráneo marítimo desde el nivel del mar hasta las zonas de media montaña.

4. La progresiva aparición y extensión a lo largo del siglo actual de los tipos agroclimáticos Marítimo cálido y en menor medida el Subtropical semicálido son claros indicadores del calentamiento global.
5. Estos resultados implican una importante transformación de las características agroclimáticas actuales para Cantabria, y por tanto del potencial productivo agro–ganadero y forestal. Esto exigirá una planificación y transformación paulatina de estos sectores para adaptarse a este cambio significativo de las variables ecológicas básicas en el control funcional de los agrosistemas.
6. Actualmente en España apenas se dispone de mapas agroclimáticos de precisión o regionales, disponiendo únicamente de mapas globales que no consideran en muchos casos los índices o parámetros locales. La posibilidad que se presenta con la metodología y procesos desarrollados en el presente trabajo, permite de una forma cómoda, obtener información de gran interés para la gestión y análisis territorial a nivel regional.
7. La cartografía climática de alta resolución abre un campo de trabajo de enorme interés para el análisis de las interrelaciones ecológicas clima–planta (o taxones faunísticos), tanto de especies cultivadas como de especies silvestres, un campo de trabajo clásico en Ecología pero imposible de abordar satisfactoriamente desde un punto de vista cartográfico antes de la existencia de este tipo de información.

#### **Agradecimientos**

A la Dirección General de Desarrollo Rural del Gobierno Regional de Cantabria.

#### **REFERENCIAS**

- Alonso, J.F., Cofiño, A., Del Corral, D., Fernández, J.M., Ferrer, F., Francés, E., Gutiérrez, J.M., Felicísimo, A. (2007). Zonificación Agroecológica de Cantabria: un estudio del potencial regional para el desarrollo de actividades agro–ganaderas. *Actas del IIV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de AgroIngeniería*, Albacete.
- Castillo, F.E. y Ruíz Beltrán, L. (1973). Clasificación Agroclimática de España. Instituto Nacional de Meteorología. 146 pp.
- Drogue, G. et al. (2002). A Statistical–Topographic Model Using An Omnidirectional Parameterization Of The Relief For Mapping Orographic Rainfall, *International Journal of Climatology*, 22: 599–613.
- Guijarro, J.A. (1986). Contribución a la Bioclimatología de Baleares, Tesis Doctoral, Universidad de las Islas Baleares.
- Gutierrez, J.M. et al. (2010). Escenarios Regionales Probabilísticos de Cambio Climático en Cantabria: Termopluiometría. Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria. 105 pp.
- White, E.J. (1979). The prediction and selection of climatological data for ecological purposes in Great Britain. *Journal of Applied Ecology*, 16:141–160.